

黄淮海地区 1961—2015 年极端气温及其 初终日序的变化特征

管 玥, 何奇瑾, 刘佳鸿, 李若晨, 胡 琦, 黄彬香, 潘学标

(中国农业大学 资源与环境学院, 北京 100193)

摘 要:针对气候变化背景下极端事件频发的现状,采用百分位阈值法、线性回归、M-K 突变检验、显著性检验等方法分析了 1961—2015 年黄淮海地区极端气温及其发生日序的时空变化特征。结果表明:(1) 黄淮海地区的平均极端高温为 32.6℃、极端低温为 -9.0℃;极端高温主要呈经向分布,极端低温呈纬向分布,极端低温受海陆位置影响较小。(2) 1961—2015 年极端高温呈高一低一高的变化趋势;极端低温有显著升高趋势,其中京津冀地区升幅最大,气候倾向率均达到了 0.6℃/10 a 以上。(3) 极端高温和极端低温的发生初日均呈提前趋势,但极端高温的终日推迟,而极端低温的终日提前结束。这表明黄淮海地区将出现秋季降温和春季升温提前趋势,将对冬小麦和夏玉米生产产生重大影响。

关键词:黄淮海; 极端气温; 初日序; 终日序

中图分类号:P467

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)01-0147-06

Variation Characteristics of Extreme Temperature and Its Earliest and Latest Day Sequence in Huang-Huai-Hai Region During the Period 1961 to 2015

GUAN Yue, HE Qijin, LIU Jiahong, LI Ruochen, HU Qi, HUANG Binxiang, PAN Xuebiao

(College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: Considering the current situation of more extreme temperature events happened in the context of climate change, we described the characteristics of extreme temperature in Huang-Huai-Hai region from 1961 to 2015 based on daily temperature data. The methods including percentile thresholds, linear regression, m-k mutation test, significance test were employed to delineate the characteristics of extreme temperature and its occurrence sequence. Important results were obtained as follows. (1) In Huang-Huai-Hai region, the average extreme high temperature was 32.6℃, and the extreme low temperature was -9.0℃. Extreme high temperatures tended to distribute in a meridional direction, and extreme low temperatures distributed in a zonal direction, indicating that extreme low temperatures were less affected by the location of the sea and land. (2) From 1961 to 2015, the extreme high temperature showed a high-low-high trend, and the extreme low temperature showed the significantly increasing trend, of which the increase in Beijing-Tianjin-Hebei region was the largest, climate tendency rate reached above 0.6℃/decade. (3) The advance of the earliest day of extreme high temperature and the delay of the latest day indicated that that extreme high temperature might occur earlier and the duration prolonged. Extreme low temperature had the characteristics of early occurrence and early termination. It is indicated that the temperature in Huang-Huai-Hai region will fall earlier in autumn and rise earlier in spring, and will seriously affect the production of winter wheat and summer maize.

Keywords: Huang-Huai-Hai region; extreme temperature; earliest day sequence; latest day sequence

IPCC 第 5 次评估报告预计 21 世纪将持续变暖,极端气候事件的发生频率、持续时间和范围将增加^[1]。极端气候、极端天气作为气候变化的重要方面,其演变特征引起学术界的广泛关注^[2-4]。气候极值作为极端气候事件发生的必要条件,对分析极端气候现象具有重要的指示作用,气温最能反映一个地区的气候环境特征,作为全球气候变化区域响应与互馈作用研究的关键天气气候要素,它是气候变化和极端天气气候事件研究最重要的指标之一^[5]。气候变化背景下近 50 a 全球 70% 的地区冷夜明显减少,暖夜明显增加^[6],体现在亚洲太平洋地区^[7]、东南亚及南太平洋地区^[8]、中国^[9]、俄罗斯^[10]、加拿大等^[11],国内学者从不同区域尺度上对中国的极端气温演变特征进行研究,包括长江流域^[12]、淮河流域^[13]、西北^[14]、华南^[15]、华北等^[16] 多个地区,前人研究表明极端低温有明显升高趋势,而极端高温由于受地理位置、地形、城市化程度等因素影响有不同的变化特征。虽然对极端气温的研究已成果颇丰,但以往研究大多以分析极端气温的变化趋势为主,对极端气温的发生日序少有研究,对极端气温发生最早、最迟日期的趋势分析也有重要意义。黄淮海地区是中国典型的气候脆弱区,也是全国政治、经济、文化中心所在地,在国家经济发展格局中具有十分重要的战略地位。本文通过百分位阈值法计算极端气温,由于儒历便于对日序进行统计分析,采用儒历定义日期,即每年的 1 月 1 日日序为 1、1 月 2 日日序为 2,对气候变化背景下 1961—2015 年黄淮海地区极端气温及极端气温初终日序的时空变化特征进行分析,以期对当前中国防灾减灾政策制定、科学应对气候变化提供参考。

1 材料和方法

1.1 研究区域和数据来源

参考行政区划,将北京市、天津市、河北省、河南省和山东省 5 个省(市)作为研究区域,地理位置为 31°—43°N,110°—123°E。选取研究区域内资料完整且分布均匀的气象站点,共收集了 51 个站点 1961—2015 年的逐日气象数据(图 1),以日最高气温和日最低气温为主要研究对象,数据来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)。

1.2 研究方法

1.2.1 极端气温计算方法 极端值通常用百分位阈值描述,该方法数学意义明确,可以反映出变量的发生概率,同时其数学意义不受数据量大小的影响,而且百分位阈值与变量的概率密度间有很好的对应关

系^[17]。具体方法如下^[18]:

选定气象要素按大小升序排列,得到 $X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_n$, 某个值小于或等于 X_j 的概率

$$p = \frac{(j - 0.31)}{(n + 0.38)} \quad (1)$$

式中: j 为气象要素按照升序排列后的序号; n 为气象要素的个数; p 为对应的百分位值。例如求年气象要素的 95% 极端值,则 $n = 365, p = 0.95$,通过式(1)可算出 $j = 347.42$,则 95% 气候极值为 $j = 347$ 和 $j = 348$ 所对应的气象要素的线性插值。

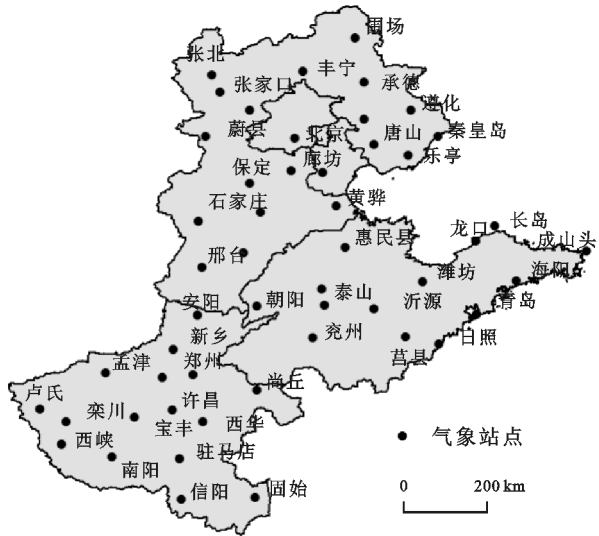


图 1 研究区域气象站点分布

本文以日最高气温、日最低气温为研究对象,以每一年日最高气温的 95% 极端值代表极端高温、日最低气温的 5% 极端值代表极端低温,将日最高气温高于当年极端高温的第一天定义为极端高温发生初日,最后一天定义为发生终日。将日最低气温低于当年极端低温的第一天定义为极端低温发生初日,最后一天定义为发生终日。

1.2.2 气候倾向率 气候倾向率用来描述气候变化的趋势,以一元线性回归斜率的 10 倍值来表示。用 X 表示样本量为 n 的某一气候要素,用 t 表示对应的年序,采用最小二乘法拟合得到一元线性回归方程,即

$$x = a + bt \quad (t = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (2)$$

式中: b 为回归系数; a 和 b 用最小二乘法进行估计。以 b 的 10 倍作为气象要素的气候倾向率; b 值为正表明该气象要素有增加的趋势,为负表明该气象要素有减少的趋势,单位为/10 a,用 F 检验判断 b 值是否达到显著性水平^[19]。

1.2.3 M-K 突变检验 Mann-Kendall 检验法是 WMO(世界气象组织)推荐的用于提取序列变化趋势和突变的有效工具,是一种非参数检验方法,优点

在于不受异常值的干扰,能客观反映时间序列趋势,目前已被广泛用于气候参数中,计算方法如下^[20]:

对于具有 n 个样本量的时间序列 X ,构造一个秩序列:

$$S_k = \sum_{i=1}^k r_i \quad (3)$$

$$r_i = \begin{cases} 1 & x_i > x_j \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (j=1,2,\dots,i) \quad (4)$$

秩序列 S_k 是第 i 时刻数值大于 j 时刻数值个数的累计数。在时间序列随机独立的假定下,定义统计量 UF_k

$$UF_k = \frac{S_k - E(S_k)}{\sqrt{\text{var}(S_k)}} \quad (k=1,2,\dots,n) \quad (5)$$

式中: $UF_1=0$; $E(S_k)$, $\text{var}(S_k)$ 是累计数 S_k 的均值和方差,在 X_1, X_2, \dots, X_n 相互独立,且有相同连续分布时,由下式算出:

$$E(S_k) = \frac{n(n-1)}{4} \quad (6)$$

$$\text{var}(S_k) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \quad (7)$$

UF_i 为标准正态分布,它是按时间序列 X 顺序 X_1, X_2, \dots, X_n 计算出的统计量序列,给定显著性水平 α ,查正态分布表,若 $|UF_i| > U_\alpha$,则表明序列存在明显的趋势变化。

按时间序列 X 逆序 X_n, X_{n-1}, \dots, X_1 ,再重复上述过程,同时使 $UB_k = -UF_k$ ($k=n, n-1, \dots, 1$), $UB_1=0$ 。

如果 $UF_k > 0$ 则说明该时间序列表现为上升趋势;如果 $UF_k < 0$,则说明该时间序列表现为下降趋势,当 UF_k 超过了临界直线时,说明时间序列的上升或下降趋势显著。如果 UF_k 和 UB_k 两条正反序列曲线出现交叉点,且交叉点出现在临界线之间,则该交叉点所对应的时刻即可确认为是突变开始发生的时间。本文给定显著性水平 $\alpha=0.05$,则临界值 $U_{0.05} = \pm 1.96$ 。

2 结果和分析

2.1 极端气温的时空变化特征

2.1.1 空间分布特征 黄淮海地区平均的极端高温为 32.6°C ,极端低温为 -9.0°C (附图 1),海拔较高的几个站点(冀北丰宁、围场、张北、张家口、蔚县、山东泰山以及河南栾川)极端气温明显偏低。极端低温大致表现为纬向分布,而极端高温大体呈现自东北向西南增加的趋势,特别在沿海地区经向分布十分明显。

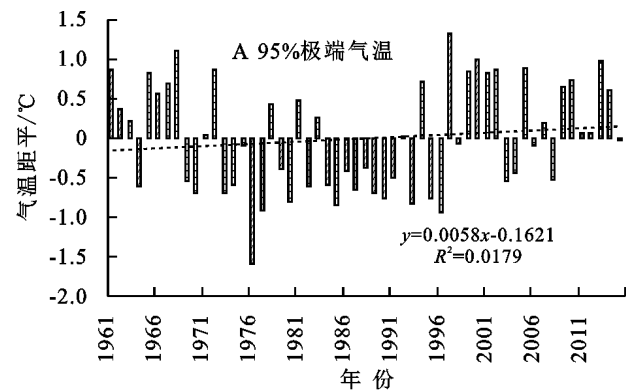
表明极端低温受纬度影响较大,而极端高温受海陆位置影响更大。中部平原地区的极端高温达到了 34°C 以上,最高值出现在南宫和许昌,为 34.9°C 。冀北由于属相对高纬高海拔地区,极端高温分别都在 33°C 以下,最低值为 25.1°C (张北)。鲁东沿海地区极端高温在 $26.5\sim 29.9^\circ\text{C}$,泰山站由于海拔高($1\,522.7\text{ m}$),仅为 22.1°C 。冀北极端低温变化范围在 $-23.3\sim -13.3^\circ\text{C}$ 。京津、冀南以及鲁西的变化范围分别为 $-10.4\sim -6.1^\circ\text{C}$,济南极端低温明显高于其他站点。山东沿海地区极端低温略高于西部内陆地区,极端低温变化范围在 $-4.3\sim -9.2^\circ\text{C}$ 。河南地区极端低温最高且空间分布差异最小,平均值为 -5.0°C ,最低值为 -7.3°C (卢氏),最高值为 -2.7°C (固始)。

2.1.2 年代际变化 将 1961—2015 年划分为 5 个时段对极端气温求平均值,并且计算相邻两个年代的差值,用 D_1 表示 1961—1970 年, D_2 表示 1971—1980 年, D_3 表示 1981—1990 年, D_4 表示 1991—2000 年, D_5 表示 2000—2015 年。

D_1 — D_2 时段,极端高温在大部分站点有所下降,河南地区降低明显,下降了 $0.9\sim 1^\circ\text{C}$,冀南、鲁西也有显著降低趋势,降幅在 $0.5\sim 0.8^\circ\text{C}$,冀北和鲁东地区下降幅度较小;全区极端低温都有上升的趋势,平均上升 0.9°C ,河北以及鲁北上升明显,其中秦皇岛和张家口与 D_1 年代相比上升了 2.3°C 。 D_2 — D_3 时段,极端高温呈现较小的波动变化,河南有持续下降的趋势,极端高温降幅 $0.3\sim 1^\circ\text{C}$;大部分站点极端低温持续升高,平均上升 0.4°C ,京津冀地区明显上升,其中北京升幅最大,上升了 1.6°C ,少部分站点有所降低,平均下降了 0.5°C 。 D_1 — D_2 时段同 D_2 — D_3 时段的极端高温和极端低温表现出非对称性变化,而 D_3 — D_4 时段绝大多数站点极端低温和极端高温都一致性升高。 D_3 — D_4 时段上升幅度有大有小,京津冀北部上升明显,其中蔚县增幅最大,为 1.4°C ,山东沿海地区上升幅度较小;极端低温升幅北部大于南部,河北升高幅度较大,其中蔚县升幅达到了 3.4°C 。 D_4 — D_5 时段变化趋于变缓,大多数站点极端高温有小幅上升;极端低温在河南、山东沿海地区略有升高的趋势,在京津冀地区有所下降。

2.1.3 趋势性分析 极端高温呈现出高一低一高的变化趋势且年际间波动较大(图 2A),60—80 年代,极端高温呈现出波动下降的趋势,且下降幅度大,1961—1980 年的极端高温下降趋势达到了 $-0.68^\circ\text{C}/10\text{ a}$,80 年代以后开始波动上升,1996 年以后变化趋势不明显,

呈现出波动的状态。气候倾向率整体呈现由中南部向东向北逐渐递增的空间分布特征,冀北以及山东沿海地区极端高温显著上升,表明北部及山东沿海地区面临的高温风险有增加趋势,上升范围为 0.14~0.33℃/10 a。河南、鲁西和冀南的极端高温呈现降低趋势,4 个站点显著下降,趋势小于 0.15℃/10 a。黄淮海地区极端低温 1987 年以前低于平均值,而 1987 年以后高于平均值,其中 1969—1989 年持续上升且上升速度快,1989 年与 1969 年相比上升了 5.8℃,1990 年以后变化不明显(图 2B),M-K 突变分



析表明突变年份为 1984 年(图 3)。绝大多数站点气候倾向率为正且达到了显著性水平,且呈现出河北西部较高,逐渐向东北东南减小的分布特征,其中京津冀地区升高幅度最大,气候倾向率均在 0.6℃/10 a 以上,遵化、邢台、蔚县、乐亭超过了 1℃/10 a,最大值为蔚县的 1.3℃/10 a,1.44℃/10 a,山东地区和河南北部气候倾向率大部分在 0.46~0.6℃/10 a,河南大部分地区的范围为 0.2~0.5℃/10 a(附图 2),极端低温的显著上升对气候变化背景下平均温度的升高有正向响应。

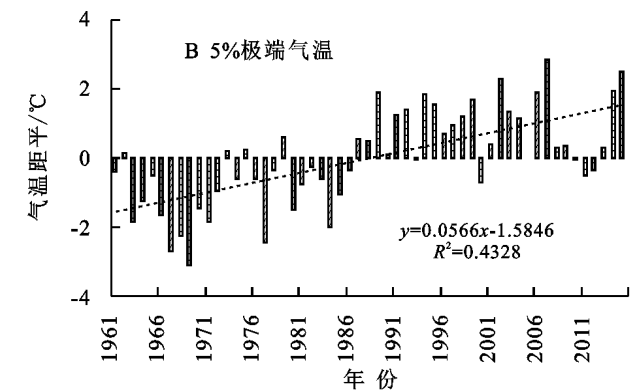


图 2 黄淮海地区 1961—2015 年极端气温距平值

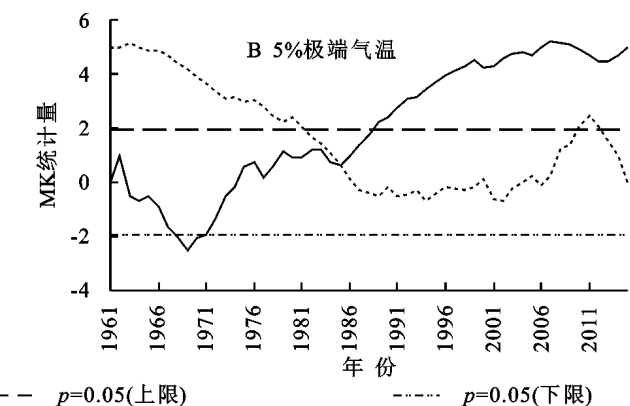
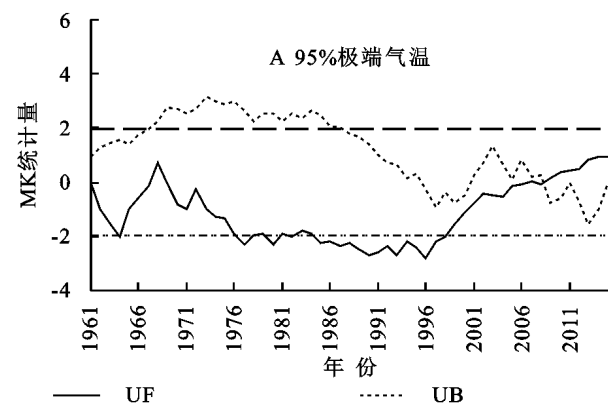


图 3 黄淮海地区 1961—2015 年极端气温 M-K 突变检验

2.2 极端气温初终日序的时空变化特征

2.2.1 空间分布特征 黄淮海地区大多数站点极端高温发生初日在 5 月 21—6 月 21 日,西部早于东部;发生终日主要在 8 月上旬—8 月下旬,分布特征为由河北南部向四周逐渐推迟。大多数站点极端低温初日发生在 12 月 10 日—12 月 20 日,京津冀平原地区及山东北部发生较晚,12 月 14 日以后才发生;大部分站点 5%极端气温于 2 月 10 日—2 月 20 日结束,山东沿海地区极端低温结束较晚,而京津冀平原地区结束早。山东沿海地区极端低温发生晚且结束晚,证明了沿海地区相对于内陆地区气温变化的延迟性,京津冀平原地区极端低温发生晚且结束早,与该地区多年来极端低温显著上升有一定关系。

2.2.2 趋势性分析 极端气温发生初终日序年际间波动性较大(图 4),M-K 突变分析也表明其变化不稳定。多数站点极端高温发生初日气候倾向率小于 0,极端高温发生初日整体呈现提前的趋势,倾向率最小值为-3.4 d/10 a(日照),达到显著性水平的站点主要位于黄淮海南部。只有冀北和鲁西极端高温发生初日有推迟,其中朝阳、惠民县极端高温发生初日显著推迟,倾向率小于 2 d/10 a(附图 3)。极端高温发生终日均推迟,越往北气候倾向率越大,最大为 3.5 d/10 a(南宫),黄淮海北部 5 个站点极端高温显著推迟。极端高温发生初日的提前和初日的推迟表明极端高温发生更早,持续时段正在延长。黄淮海地区极端低温初日均有提前,提前幅度最大为青龙,倾向率达到了 3.0 d/10 a。极端低温终日

变化趋势有明显的区域特征,表现为京津冀地区显著提前,倾向率 $1.7\sim 2.7\text{ d}/10\text{ a}$,而在河南、山东呈推迟

特征,但推迟并不显著。整体来看极端低温有提前发生、提前结束的特征。

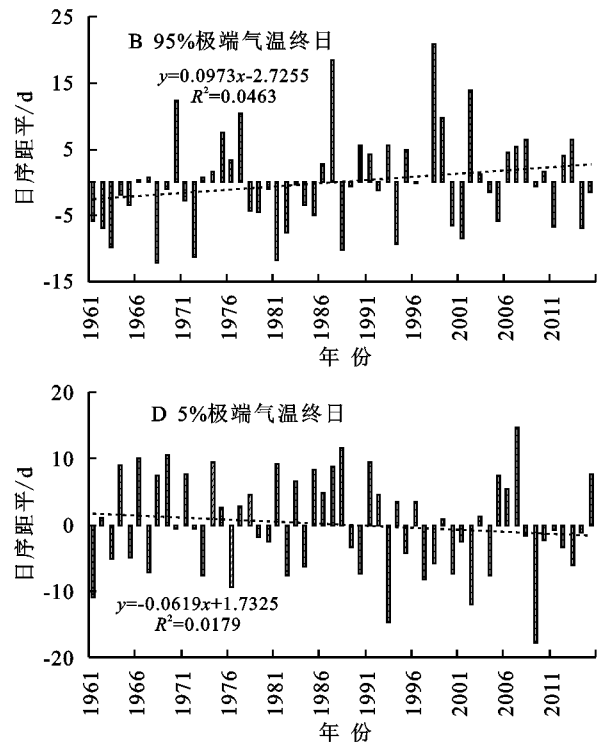
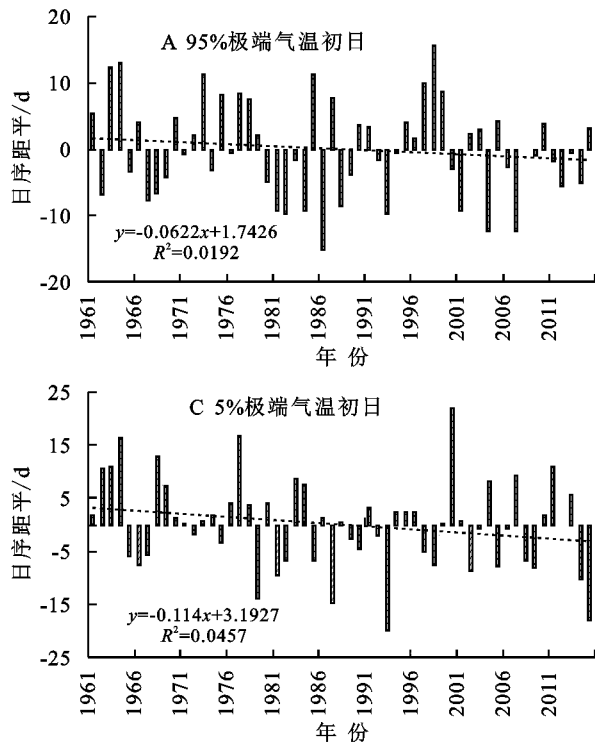


图 4 黄淮海地区 1961—2015 年极端气温初终日距平值

3 结论和讨论

(1) 黄淮海地区的平均极端高温为 32.6°C , 极端低温为 -9.0°C 。极端低温呈纬向分布, 极端高温更偏向于经向分布, 表明极端高温受海陆位置影响较大。(2) 黄淮海地区极端高温有上升趋势但不显著, 年代际变化表明极端高温呈现出高一低一高的变化趋势, D_3 时段是一个变化节点, D_1-D_2 时段同 D_2-D_3 时段的极端高温和极端低温表现出非对称性变化, 而 D_3-D_4 时段绝大多数站点极端低温和极端高温都一致性升高, D_4-D_5 时段变化趋于变缓。柏会子基于 ETCCDI(气候变化与监测指数专家团队)定义的 8 个极端温度对华北地区极端气候事件进行研究, 发现极端高温事件的指数均呈上升趋势^[21]。60 年代是一个高温年代, 由于华北地区易受大陆高压脊的控制, 卫捷等认为 60 年代的高温与夏季亚洲中高纬 500 hPa 高度场在乌拉尔山、贝加尔湖及鄂霍茨克海地区分别出现长波槽、脊及槽的环流有关, 且 90 年代夏季亚洲中高纬地区再次出现类似环流, 又呈现出升温的趋势^[22], 本文结果也印证了这一趋势。极端低温在 1961—2015 年呈现出明显上升的趋势, 这与全国大部分地区变化基本一致^[23-26], 且有学者认为极端最低气温的显著升高是造成近几十年平均气

温升高、日较差减小的主要原因^[27]。其中京津冀地区升高幅度最大, 大部分站点极端高温气候倾向率达到了 $0.6^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 以上, 周雅清等认为城市化对华北地区极端低温相关指数的贡献率在 50% 以上^[28]。 D_5 时段极端高温、极端低温变化趋势均变缓, 响应了 1998—2012 年全球变暖停滞现象^[29], 且极端低温的变化幅度和趋势明显高于极端高温, 反映了气温的非对称性变化^[12]。极端气温的形成和演变具有复杂性, 除了海拔、地形、城市化程度等, 大气环流异常是影响极端气候事件的时空演变的重要因子, 有学者分析得出副热带高压、南极涛动和北极涛动是影响中国大陆东部极端气温事件的重要因素^[5], 且北极涛动的持续增强可能是东亚北部地区冬季增暖的重要原因之一^[30]。此外, 气候变化背景下地表覆盖的改变、温室气体的排放、风速场的变化等是否与极端气温有关还有待更深一步的探索。

(3) 黄淮海地区大多数站点极端高温发生初日在 5—6 月, 终日在 8 月下旬—9 月上旬。极端高温发生初日整体呈现提前的趋势, 未来需要更早做好防范高温的准备。全区极端高温发生终日均推迟, 黄淮海北部地区推迟明显, 越往北气候倾向率越大, 推迟幅度最大达到了 $3.5\text{ d}/10\text{ a}$ (南宫)。极端高温发生初日的提前和初日的推迟表明气候变化背景下黄淮海地区极端高温可

能发生更早,且持续时段正在延长。极端低温最早发生在11月下旬—12月上旬,终日在2月中旬—3月上旬。京津冀平原地区极端低温发生晚且结束早,与该地区多年来极端低温显著上升有一定关系。整体来看极端低温有提前发生、提前结束的特征,表明黄淮海地区将出现秋季降温 and 春季升温提前趋势,将对冬小麦和夏玉米生产产生重大影响。

参考文献:

- [1] Stocker T F, Qin D, Plattner G K, et al. Climate change 2013: The physical science basis[R]. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013.
- [2] 丁一汇,王会军.近百年中国气候变化科学问题的新认识[J].科学通报,2016,61(10):1029-1041.
- [3] 曲建升,肖仙桃,曾静静.国际气候变化科学百年研究态势分析[J].地球科学进展,2018,33(11):1193-1202.
- [4] 翟盘茂,潘晓华.中国北方近50年温度和降水极端事件变化[J].地理学报,2003,58(S1):1-10.
- [5] 齐庆华,蔡榕硕,郭海峡.中国东部气温极端特性及其气候特征[J].地理科学,2019,39(8):1340-1350.
- [6] Alexander L V, Zhang X, Peterson T C, et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation [J]. Journal of Geophysical Research, 2006,111(5):1042-1063.
- [7] Choi G, Collins D, Ren G, et al. Changes in means and extreme events of temperature and precipitation in the Asia-Pacific Network region, 1955-2007 [J]. International Journal of Climatology, 2009,29(13):1906-1925.
- [8] Manton M J, Dellamarta P M, Haylock M, et al. Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific:1961-1998[J]. International Journal of Climatology, 2001,21(3):269-284.
- [9] 周雅清,任国玉.中国大陆1956—2008年极端气温事件变化特征分析[J].气候与环境研究,2010,15(4):405-417.
- [10] Gruza G V, Rankova E, Razuvaev V, et al. Indicators of Climate Change for the Russian Federation[J]. Climatic Change, 1999,42(1):219-242.
- [11] Vincent L A, Mekis E. Changes in daily and extreme temperature and precipitation indices for Canada over the twentieth century[J]. Atmosphere-Ocean, 2006,44(2):177-193.
- [12] 王琼,张明军,王圣杰,等.1962—2011年长江流域极端气温事件分析[J].地理学报,2013,68(5):611-625.
- [13] 王怀军,潘莹萍,陈忠升.1960—2014年淮河流域极端气温和降水时空变化特征[J].地理科学,2017,37(12):1900-1908.
- [14] 韩晖,李耀辉.气象极值变化及其导致的农业气象灾害趋势分析:以甘肃省为例[J].冰川冻土,2013,35(4):999-1006.
- [15] 伍红雨,杜尧东.1961—2008年华南地区极端气温的非对称变化[J].生态学杂志,2010,29(11):2241-2248.
- [16] 王冀,蒋大凯,张英娟.华北地区极端气候事件的时空变化规律分析[J].中国农业气象,2012,33(2):166-173.
- [17] 黄琰,封国林,董文杰.近50年中国气温、降水极值分区的时空变化特征[J].气象学报,2011,69(1):125-136.
- [18] Bonsal B R, Zhang X B, Vincent L A, et al. Characteristics of Daily and Extreme Temperatures over Canada[J]. Journal of Climate, 2001,14(9):1959-1976.
- [19] 黄嘉佑.气象统计分析与预报方法[M].北京:气象出版社,2016.39-48.
- [20] 王丽君.黄淮海平原夏玉米季干旱、高温的发生特征及对产量的影响[D].北京:中国农业大学,2018.
- [21] 柏会子,肖登攀,刘剑锋,等.1965—2014年华北地区极端气候事件与农业气象灾害时空格局研究[J].地理与地理信息科学,2018,34(5):99-105.
- [22] 卫捷,孙建华.华北地区夏季高温闷热天气特征的分析[J].气候与环境研究,2007,12(3):453-463.
- [23] 曹祥会,龙怀玉,张继宗,等.河北省主要极端气候指数的时空变化特征[J].中国农业气象,2015,36(3):245-253.
- [24] 邓梅,蔡海朝,马琴,等.1961—2010年湘中地区气候极值与农业气候指标动态变化趋势[J].中国农学通报,2018,34(25):145-150.
- [25] 曹永旺,延军平.1961—2013年山西省极端气候事件时空演变特征[J].资源科学,2015,37(10):2086-2098.
- [26] 黄小燕,王小平,王劲松,等.1960—2013年中国沿海极端气温事件变化特征[J].地理科学,2016,36(4):612-620.
- [27] 张新宜,周晓宇,刘熠炎.1954—2013年湖北省黄石市极值气温变化特征分析[J].气象研究与应用,2015,36(2):85-92,95.
- [28] 周雅清,任国玉.城市化对华北地区极端气温事件频率的影响[J].高原气象,2014,33(6):1589-1598.
- [29] Li Q, Yang S, Xu W, et al. China experiencing the recent warming hiatus[J]. Geophysical Research Letters, 2015, 42(3):889-898.
- [30] 琚建华,任菊章.大气环流年际变化对东亚北部冬季气温异常的影响[J].云南大学学报:自然科学版,2003, 25(6):518-524.